

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

015141862 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 2003-202389/200320

XRAM Acc No: C03-051819

XRPX Acc No: N03-161138

Working workpiece using laser beam comprises moving workpiece with respect to beam to produce melt, current being applied to produce field with divergent or convergent lines of current

Patent Assignee: UNIV STUTTGART INST STRAHLWERKZEUGE (UYST-N)

Inventor: AMBROSY G; BERGER P; HUEGEL H; LEIMSER M; XIAO R

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 10128793	A1	20030123	DE 1028793	A	20010615	200320 B

Priority Applications (No Type Date): DE 1028793 A 20010615

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

DE 10128793 A1 7 B23K-026/42

Abstract (Basic): DE 10128793 A1

NOVELTY - Working a workpiece (1) using a laser beam (2) comprises moving the workpiece with respect to the beam, or vice-versa, to produce a melt (3). Current is applied to the melt to produce a field with divergent or convergent lines of current, without applying an external magnetic field.

USE - Working a workpiece using a laser beam.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic view of a welding system.

Workpiece (1)

Laser beam (2)

Melt (3)

pp; 7 DwgNo 1/5

Title Terms: WORK; WORKPIECE; LASER; BEAM; COMPRIZE; MOVE; WORKPIECE; RESPECT; BEAM; PRODUCE; MELT; CURRENT; APPLY; PRODUCE; FIELD; DIVERGE; CONVERGE; LINE; CURRENT

Derwent Class: M23; P55; X24

International Patent Class (Main): B23K-026/42

International Patent Class (Additional): B23K-026/32; B23K-028/02

File Segment: CPI; EPI; EngPI

Manual Codes (CPI/A-N): M23-D05

Manual Codes (EPI/S-X): X24-D03

?



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND  
  
DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 101 28 793 A 1**

(51) Int. Cl. 7:  
**B 23 K 26/42**  
B 23 K 26/32  
B 23 K 28/02

**DE 101 28 793 A 1**

(21) Aktenzeichen: 101 28 793.3  
(22) Anmeldetag: 15. 6. 2001  
(23) Offenlegungstag: 23. 1. 2003

(71) Anmelder:  
Universität Stuttgart Institut für Strahlwerkzeuge,  
70569 Stuttgart, DE

(74) Vertreter:  
U. Ostertag und Kollegen, 70597 Stuttgart

(72) Erfinder:  
Xiao, Rongshi, Prof. Dr.-Ing., Peking/Pei-ching, CN;  
Leimser, Markus, Dipl.-Ing., 73635 Rudersberg, DE;  
Ambrosy, Günter, Dipl.-Gewerbel. Dipl.-Ing. (FH),  
70565 Stuttgart, DE; Berger, Peter, Dipl.-Ing., 71254  
Ditzingen, DE; Hügel, Helmut, Prof. Dr.-Ing., 71067  
Sindelfingen, DE

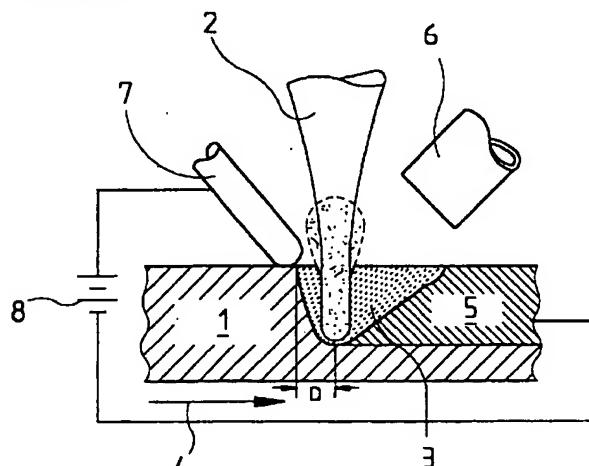
(56) Entgegenhaltungen:  
US 59 32 121 A  
US 58 66 870 A  
MISSORI, S., [u.a.]: Prozesskombination von CO<sub>2</sub>-  
Laserstrahl- und Metall-Schutzgasschweissen zum  
Fügen plattierter Bleche. In: Schweißen und  
Schneiden, 1997, H. 11, S. 850-852, 854, 856, 857;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Laserstrahl

(57) Mit Hilfe eines Laserstrahls (2) wird in bekannter Weise innerhalb eines Werkstücks (1) ein Schmelzbad (3) erzeugt, in dem bei einer Relativbewegung zwischen Werkstück (1) und Laserstrahl (2) eine Materialströmung stattfindet. Zur Erzeugung einer auf die Schmelze (3) wirkenden Kraft, welche den Schweißvorgang stabilisiert und die Tiefe der Schweißung sowie deren Breite, senkrecht zur Bewegungsrichtung, formt, wird ein elektrischer Strom durch die Schmelze (3) geleitet. Auf den Einsatz eines äußeren Magnetfelds, der beim Stand der Technik für erforderlich gehalten wurde, wird verzichtet. Die auf die Schmelze (3) einwirkende Kraft ist unabhängig von der Stromflußrichtung, so daß auch Wechselstrom eingesetzt werden kann.



**DE 101 28 793 A 1**

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Laserstrahl, bei welchem unter einer Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück in letzterem eine Schmelze erzeugt wird, welche bei der Relativbewegung zum Strömen kommt, und bei welchem zur Erzeugung einer auf die Schmelze wirkenden Kraft ein elektrischer Strom durch die Schmelze geleitet wird.

[0002] Laserbearbeitungsverfahren von Werkstücken sind in unterschiedlichster Ausgestaltung bekannt. Bei der "Bearbeitung" kann es sich beispielsweise um ein oberflächliches Umschmelzen, um eine Beschichtung, ein Schneiden oder um eine Verbindungsschweißung zweier Werkstücke handeln. All diesen Bearbeitungsverfahren ist gemeinsam, daß durch den Laserstrahl in dem bearbeiteten Werkstück eine Schmelze erzeugt wird, welche aufgrund der Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück zum Fließen genötigt ist. Beispielsweise muß überall dort, wo der Laserstrahl in dem Werkstück eine Dampfkapillare erzeugt, also etwa beim Verbindungsschweißen, das auf der Schmelzfront aufgeschmolzene Material die Dampfkapillare umströmen. Ist die Relativgeschwindigkeit zwischen Laser und Werkstück zu hoch, wird die fragliche Strömung der Schmelze unruhig und turbulent. Als Folge davon ergeben sich Unregelmäßigkeiten in der Schweißnaht, wie beispielsweise Höcker oder sonstige Unebenheiten. Beim Schweißen von Stahlsorten wird der unerwünschte "Humping-Effekt" beobachtet, bei welchem sich unter ungünstigen Umständen statt einer kontinuierlich glatten Schweißnaht eine Folge von diskreten Materialinseln ergibt. Generell kann es im Zusammenspiel verschiedener Prozeßparameter dazu kommen, daß Schmelztröpfchen aus der Schmelze herausspritzen und sich auf der Oberfläche des Werksstückes ablagern.

[0003] Besonders bei der Bearbeitung von Aluminium treten häufig Instabilitäten auf, da die Viskosität der Aluminiumschmelze sehr gering, ihre Wärmeleitfähigkeit dagegen sehr hoch ist.

[0004] Diesen Effekten wurde mit Hilfe eines Verfahrens der eingangs genannten Art entgegengewirkt, welches in der DE 197 32 008 C2 beschrieben ist. Bei diesem bekannten Verfahren wird als primärer, die Schmelze stabilisierender Faktor ein äußeres Magnetfeld eingesetzt, von dem man annimmt, daß es auf die strömende Schmelze eine Volumenkraft in Form einer Lorentzkraft ausübt. Diese entsteht in Wechselwirkung des angelegten Magnetfeldes mit einem "intrinsischen", also in jedem Falle – auch ohne Anlegung eines Magnetfeldes – fließenden Strom. Sie ist abhängig von der Richtung des von außen angelegten Felds, kann also grundsätzlich sowohl auf den Grund des Schmelzbads als auch aus dem Werkstück heraus gerichtet sein. Bei dem in der DE 197 32 008 C2 beschriebenen Verfahren wird auch in Betracht gezogen, auf die von dem Magnetfeld hervorgerufene Volumenkraft dadurch Einfluß zu nehmen, daß zusätzlich ein elektrischer Strom durch die Schmelze geleitet wird. Dieser Kraftbeitrag ist erneut die Folge der Wechselwirkung des äußeren Magnetfelds mit dem elektrischen Strom und erneut abhängig sowohl von der Stromrichtung als auch von der Richtung des Magnetfelds.

[0005] Die Erzeugung eines ausreichend hohen äußeren Magnetfelds ist jedoch mit einem erheblichen apparativen Aufwand verbunden. Zudem bereitet es häufig Schwierigkeiten, den Magneten in den beengten Verhältnissen in der Nähe des Laserstrahls anzurichten. Auch kann die geometrische Form des Werkstückes die Zugänglichkeit und damit die Anwendbarkeit des bekannten Verfahrens erschweren.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein

Verfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, das mit geringem apparativem Aufwand durchführbar ist.

[0007] Diese Aufgabe wird erfahrungsgemäß dadurch gelöst, daß ein Strom mit inhomogenem, insbesondere divergierendem oder konvergierendem Stromlinienfeld, ohne Anlegen eines äußeren Magnetfelds durch die Schmelze geführt wird.

[0008] Erfahrungsgemäß wurde erkannt, daß es zur Erzeugung der gewünschten Volumenkraft auf die Schmelze nicht notwendig ist, daß der durch das Werkstück geleitete elektrische Strom mit einem äußeren Magnetfeld wechselt. Tatsächlich reicht, wie von der Erfindung erstmals erkannt wurde, das von dem elektrischen Strom erzeugte magnetische Eigenfeld aus, mit dem Strom selbst wechselzuwirken und auf diese Weise die gewünschte Volumenkraft auf die Schmelze hervorzurufen. Dies setzt allerdings ein inhomogenes, divergierendes oder konvergierendes Stromlinienfeld voraus. Dann entstehen aus der Wechselwirkung zwischen Stromdichte und induziertem Magnetfeld an unterschiedlichen Orten im Schmelzbad unterschiedlich große Kräfte derart, daß nicht nur eine Druckerhöhung im Zentrum des Stromflusses sondern auch eine Strömungsbewegung zu stande kommt. Die Elektrodenausbildung und -anordnung muß dieses divergierende oder konvergierende Stromlinienfeld im Schmelzbad gewährleisten.

[0009] Außerdem sind sehr viel größere elektrische Ströme erforderlich, als im in der DE 197 32 008 C2 beschriebenen Verfahren eingesetzt wurden. Dort genügten bei technisch sinnvollen Magnetfeldstärken Ströme zwischen 0,05 und 5 A. Die erfahrungsgemäß größeren Ströme sind kein Nachteil: Die elektrische Leistung, die durch die Ströme im Werkstück in Wärme umgesetzt wird, kann wegen des geringen Widerstands innerhalb des Werkstücks klein gehalten werden. Die Aufheizung des Werkstücks durch den elektrischen Strom spielt im Vergleich zu der Laserleistung daher nur eine geringe Rolle. Der Bereich, in dem die Schmelzbadbewegung verursacht wird, ist daher nicht an den Ort der Wärmeeinbringung gebunden.

[0010] Der Wegfall des Magneten, der nach dem Stand der Technik benötigt wurde, stellt eine sehr große apparative Vereinfachung dar und ist unter den beengten räumlichen Verhältnissen außerordentlich hilfreich.

[0011] Die Mindeststromstärke, die zur Beobachtung des der Erfindung zugrundeliegenden Effektes erforderlich ist, hängt von dem Abstand zwischen der Elektrode und dem Laserstrahl ab: Je näher die Elektrode an den Laserstrahl herangebracht werden kann, desto kleiner wird die Mindeststromstärke, da die Stromdichte mit dem Abstand von der Elektrode kleiner wird und die Divergenz oder Konvergenz mit zunehmendem Abstand von der Elektrode nachläßt.

[0012] Bei einem Elektrodenabstand von 3 mm beträgt die Mindeststromstärke 100 A, bei einem Elektrodenabstand von 2 mm 75 A.

[0013] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfahrungsgemäßen Verfahrens wird der Strom in das Werkstück über mindestens eine an der oberen Fläche des Werkstücks in Bewegungsrichtung vor dem Laserstrahl anliegende Elektrode eingeleitet. Hierdurch entsteht ein in der Nähe der einleitenden Elektrode inhomogenes Stromlinienfeld innerhalb der Schmelze, das in Wechselwirkung mit dem induzierten Magnetfeld formend auf die Schmelze und deren Tiefe einwirkt.

[0014] Die dabei eingesetzte Elektrode kann inert, insbesondere eine Wolframelektrode, sein.

[0015] Alternativ ist es möglich, als Elektrode einen Fülldraht zu verwenden, der durch den Laserstrahl abgeschmolzen wird. Der Fülldraht erhält auf diese Weise eine zweite Funktion, nämlich diejenige der Elektrode. Da er in vielen

Anwendungsfällen ohnehin vorhanden ist, werden für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens keine zusätzlichen Teile benötigt. Die durch den Stromfluß in dem Fülldraht erzeugte Wärme trägt zu der Gesamtenergie bei, die zum Aufschmelzen des Fülldrahts erforderlich ist, so daß hierfür weniger Laserleistung benötigt wird.

[0016] Als Elektroden können des weiteren Stifte oder Rollen dienen, die, dem Laserstrahl vorlaufend, außerdem zur mechanischen Spaltverringerung zwischen den zu verfügenden Teilen eingesetzt werden.

[0017] Der Stromkreis wird bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens über mindestens eine in Bewegungsrichtung hinter dem Laserstrahl am Werkstück anliegende Elektrode geschlossen. Auch durch diese Maßnahme wird eine inhomogene Stromlinienverteilung innerhalb des Werkstücks erzeugt und so Einfluß auf Tiefe und Form der Schweißung genommen.

[0018] Besonders bevorzugt ist diejenige Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welcher der Strom Wechselstrom ist. Wie weiter unten noch ausführlicher erläutert wird, hat beim erfindungsgemäßen Verfahren die auf die Schmelze ausgeübte Volumenkraft unabhängig von der Richtung des Stroms stets eine nach unten gerichtete Komponente. Es ist also nicht erforderlich, zur Beeinflussung der Schmelze den durch das Werkstück geführten Strom gleichzurichten; vielmehr kann unmittelbar Wechselstrom eingesetzt werden.

[0019] Schließlich ist es möglich, eine zusätzliche Wärmequelle, z. B. einen Plasmabrenner, zu verwenden.

[0020] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert; Es zeigen

[0021] Fig. 1 schematisch eine Anordnung zum Schweißen eines Werkstücks;

[0022] Fig. 2 in vergrößertem Maßstab im Schnitt parallel zur Bewegungsrichtung des Werkstücks den elektrischen Stromlinienverlauf in der Nähe der einleitenden Elektrode;

[0023] Fig. 3 und 4 im Schnitt senkrecht zur Bewegungsrichtung des Werkstücks den Verlauf des elektrischen Stromdichte-, des Kraft- und des Magnetfelds bei unterschiedlichen Strömungsrichtungen des eingeleiteten Stromes;

[0024] Fig. 5 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Anordnung zum Schweißen eines Werkstücks.

[0025] Zunächst wird auf Fig. 1 Bezug genommen. In dieser ist mit dem Bezugszeichen 1 ein Werkstück gekennzeichnet, das bis zu einer gewissen Tiefe aufgeschmolzen werden soll. Statt eines einzigen Werkstücks 1 können hier auch zwei übereinanderliegende oder in der Zeichenebene aneinander anstoßende Werkstücke gedacht werden, die durch eine Schweißung miteinander verbunden werden sollen. Der die Schweißenergie liefernde fokussierte Laserstrahl ist in Fig. 1 nur teilweise dargestellt und mit dem Bezugszeichen 2 versehen. Er erzeugt in dem Werkstück 1 ein bis zu einer gewissen Tiefe gehendes Schmelzbad 3. Das Werkstück 1 wird gegenüber dem stationären Laserstrahl 2 in Richtung des Pfeils 4 bewegt. In einer gewissen Entfernung von dem Laserstrahl 2 verfestigt sich das aufgeschmolzene Material wieder und bildet so eine Schicht 5 erstarrten Materials. Der gesamte Aufschmelzprozeß findet unter Schutzgas statt, welches über eine Düse 6 zugeführt wird.

[0026] Der soweit beschriebene Aufschmelz- bzw. Schweißvorgang entspricht dem Stand der Technik.

[0027] In einer gewissen Entfernung D vor dem Laserstrahl 2 ist an die obere Fläche des Werkstücks 1 eine Elektrode angelegt, die mit dem Pluspol einer Spannungsquelle 8 verbunden ist. Der Minuspol der Spannungsquelle 8 ist in verhältnismäßig großer Entfernung von dem Laserstrahl 2,

auf der der Elektrode 7 gegenüberliegenden Seite, mit dem Werkstück 1 und zwar im Bereich der erstarrten Schicht 5 verbunden.

[0028] Schickt man mit Hilfe der Elektrode 7 und der Spannungsquelle 8 während des Schweißvorgangs einen ausreichend großen Strom durch das Werkstück 1, so beobachtet man, daß die Schweißung tiefer und das Schmelzbad in Richtung senkrecht zur Bewegungsrichtung schneller wird. Dieser erwünschte Effekt wird erst ab einer bestimmten Stromstärke, im allgemeinen ab 100 A beobachtet.

[0029] Um diesen Effekt zu erklären, wird auf Fig. 2 Bezug genommen, in welcher das Werkstück 1 mit dem vom Laserstrahl 2 erzeugten "keyhole" (Dampfkapillare) 9 und dem Schmelzbad 3 noch einmal in vergrößertem Maßstab dargestellt ist. Die anderen Komponenten der Fig. 1 mit Ausnahme der Elektrode 7 sind in Fig. 2 weggelassen.

[0030] Wie die Zeichnung deutlich macht, stellt sich unter den geometrischen Bedingungen der Fig. 1 und 2 ein Stromlinienfeld innerhalb des Werkstücks 1 ein, welches ausgehend von der Elektrode 7 stark divergent ist und sich in Fig. 2 nach rechts, also mit zunehmender Entfernung von dem Schmelzbad 3, vergleichmäßig. Der durch das Werkstück 1 geleitete Strom erzeugt ein Eigenmagnetfeld, welches mit dem Strom selbst wechselt. Die Stromdichte ist an der Oberseite des Schmelzbads 3 nahe der Elektrode 7 größer als im Bereich von dessen Boden. Da die elektromagnetischen Kräfte proportional zum Quadrat der Stromdichte sind, entsteht zwischen der Oberseite und der Unterseite des Schmelzbads 3 ein Kraftfeld. Unter der Wirkung dieses Kraftfelds wird das aufgeschmolzene Material vor dem "keyhole" in Richtung auf den Boden des Schmelzbads 3 gedrückt, was Wärme in Richtung auf diesen Boden transportiert. Die Folge ist, daß die Schmelztiefe, wie schon erwähnt, wächst, während die Breite der Schweißung (senkrecht zur Bewegungsrichtung, also zur Ebene der Fig. 2 gesehen) schneller wird.

[0031] Die auf die Schmelze wirkenden Kräfte haben stets eine nach unten gerichtete Komponente, unabhängig von der Richtung des Stroms, der durch das Werkstück fließt. Dies ist in den Fig. 3 und 4 verdeutlicht. Fig. 3 zeigt die Situation, in welcher der Strom über die Elektrode 7 aus dem Werkstück herausfließt. Die Magnetfeldlinien, die durch diesen Strom erzeugt werden, verlaufen senkrecht zur Zeichenebene von Fig. 3. Sie treten an der Stelle 10 nach oben aus der Zeichenebene aus und an der Stelle 11 nach unten in die Zeichenebene hinein. Durch die Wechselwirkung des Magnetfelds mit dem innerhalb des Werkstücks 1 verlaufenden Stromen entsteht ein Kraftfeld, das durch die kleinen Pfeile F symbolisiert wird. Die resultierende Komponente aller dieser Kräfte ist  $F_{res}$ , die nach unten gerichtet ist.

[0032] Wird die Stromrichtung umgekehrt, entsteht die in Fig. 4 dargestellte Situation. Das Magnetfeld tritt nunmehr an der Stelle 10 nach unten in die Zeichenebene der Fig. 4 ein und an der Stelle 11 nach oben aus der Zeichenebene aus. Es hat also ebenso wie der Strom, der durch die Elektrode 7 strömt, seine Richtung umgekehrt. Im Ergebnis bleibt die Richtung des Kraftfelds F und somit auch die Richtung der resultierenden Kraftkomponente  $F_{res}$  unverändert nach unten gerichtet.

[0033] Diese Unabhängigkeit der Richtung der resultierenden Kraft von der Richtung des Stromflusses macht es möglich, statt einer Gleichspannungsquelle 8 auch eine Wechselspannungsquelle einzusetzen.

[0034] Fig. 5 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer Anordnung zum Schweißen eines Werkstücks, die derjenigen, die oben anhand der Fig. 1 beschrieben wurde, sehr ähnelt. Entsprechende Teile sind daher mit dem selben Bezugszeichen zuzüglich 100 gekennzeichnet.

[0035] So findet sich insbesondere in Fig. 5 wiederum ein Werkstück 101, das gegenüber einem stationären fokussierten Laserstrahl 102 in Richtung des Pfeils 104 bewegt wird. Der Laserstrahl 102 erzeugt unter Schutzgas, das über die Düse 106 zuströmt, in dem Werkstück 101 ein Schmelzbad 103, das sich in einer gewissen Entfernung von dem Laserstrahl 102 zu der erstarrten Schicht 105 verfestigt. 5

[0036] Unterschiede zwischen den Ausführungsbeispielen der Fig. 1 und 5 sind in Folgendem zu sehen: Statt der inerten Elektrode 7 von Fig. 1 wird beim Ausführungsbeispiel der Fig. 5 der von der Stromquelle 108 erzeugte Strom über einen sich verbrauchenden Fülldraht 107 in das Werkstück 101 im Bereich des Schmelzbads 103 eingeleitet. Der Fülldraht 107 übernimmt also auf diese Weise die Funktion einer Elektrode mit. Der Minuspol der Spannungsquelle 108 ist mit einer zweiten Elektrode 112 verbunden, die im Bereich der erstarrten Schicht 105 an die obere Fläche des Werkstücks 101 angelegt ist. 10

[0037] Die Verwendung des Fülldrahts 107 als Elektrode bringt auch den Vorteil mit sich, daß durch den Fülldraht 20 107 durchströmenden Strom eine gewisse Vorerwärmung erzielt wird, so daß die Leistung zur Aufschmelzung des Fülldrahts 107 nicht ausschließlich von dem Laserstrahl 102 erbracht werden muß. 15

[0038] Die Verwendung der zusätzlichen Elektrode 112 25 verändert den Verlauf des Stromlinienfelds innerhalb des Werkstücks 101 gegenüber dem, der in Fig. 2 dargestellt ist. Statt einer Vergleichmäßigung dieses Stromlinienverlaufs in Entfernung vom Laserstrahl 102 findet in Fig. 5 erneut eine Bündelung des Stromlinienverlaufs im Bereich der zweiten 30 Elektrode 112 statt. Diese Bündelung führt zu einer Veränderung des Kraftfelds, das auf die Schmelze 103 wirkt, und damit zu einer Veränderung der Tiefe und Querschnittsform der durch den Laserstrahl 102 erzeugten Schweißung. 35

[0039] Allgemein lassen sich Tiefe und Form der Schweißung, die von dem Laserstrahl 2 bzw. 102 hervorgerufen wird, durch die Plazierung und die Zahl der Elektroden verändern, die eingesetzt werden. So kann beispielsweise der Abstand D der Elektrode 7 gegenüber dem Laserstrahl 2 in Fig. 1 variiert werden. Alternativ ist es auch möglich, beispielsweise zwei Elektroden 7 zu verwenden, die in Richtung senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 1 nach oben und unten gegenüber dem Laserstrahl 2 versetzt sind. 40 45

## Patentansprüche

45

Fläche des Werkstücks (1; 101) in Bewegungsrichtung vor dem Laserstrahl (2; 102) anliegende Elektrode (7; 107) eingeleitet wird. 6

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (7) inert, insbesondere eine Wolframanode, ist.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Elektrode (107) ein Fülldraht verwendet wird, der durch den Laserstrahl (102) abgeschmolzen wird. 10

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromkreis über mindestens eine in Bewegungsrichtung hinter dem Laserstrahl (102) am Werkstück (101) anliegende Elektrode (107) geschlossen wird. 15

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom Wechselstrom ist. 20

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine zusätzliche Wärmequelle, z. B. ein Plasmabrenner, verwendet wird. 25

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

1. Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Laserstrahl, bei welchem unter einer Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück in letzterem eine Schmelze erzeugt wird, welche bei der Relativbewegung zum Strömen kommt, und bei welchem zur Erzeugung einer auf die Schmelze wirkenden Kraft ein elektrischer Strom durch die Schmelze geleitet wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom mit inhomogenem, insbesondere divergierendem oder konvergierendem Stromlinienfeld ohne Anlegen eines äußeren Magnetfelds durch die Schmelze geleitet wird. 50

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom bei einem Abstand zwischen Elektrode (7; 107) und Laserstrahl (2; 102) von 3 mm mindestens 100 A beträgt. 60

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom bei einem Abstand zwischen Elektrode (7; 107) und Laserstrahl (2; 102) von 2 mm mindestens 75 A beträgt. 65

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom in das Werkstück (1; 101) über mindestens eine an der oberen

**- Leerseite -**

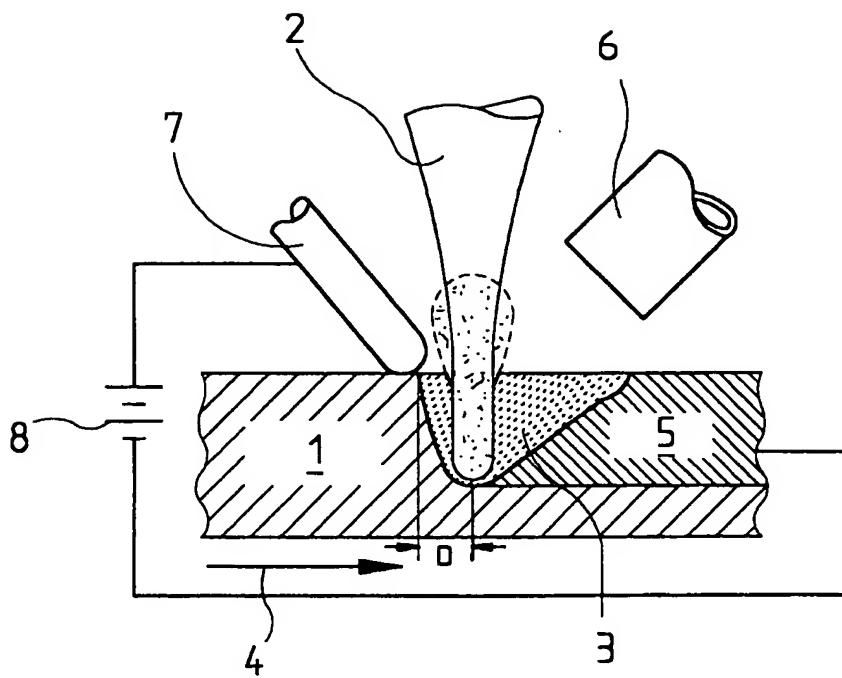


Fig. 1

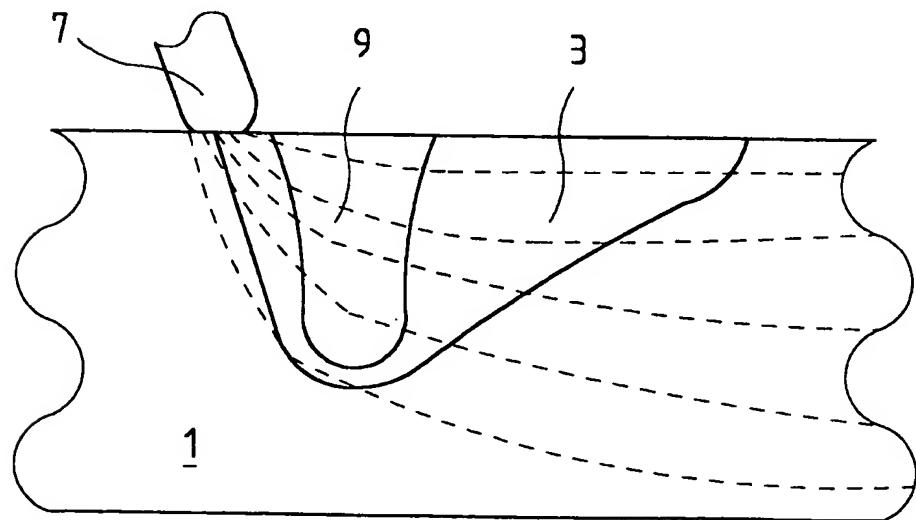


Fig. 2

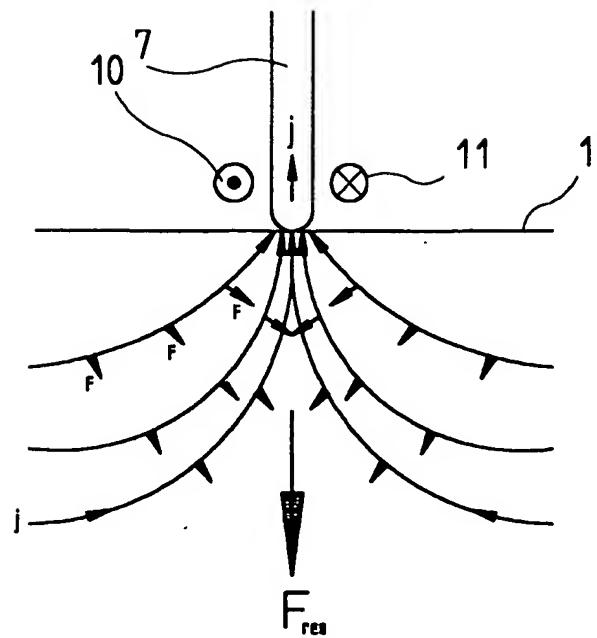


Fig. 3

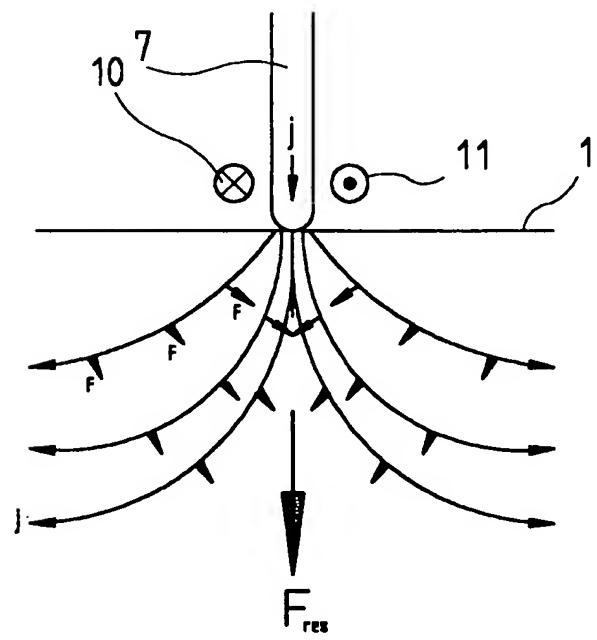


Fig. 4

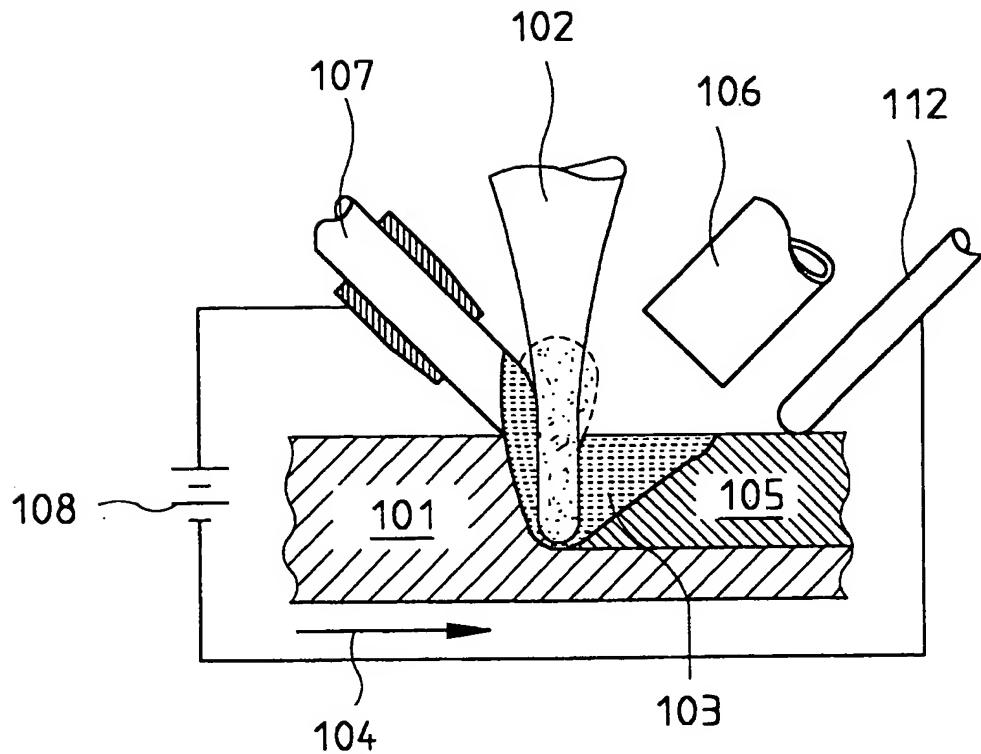


Fig.5